

Sete Lagoas, MG
Agosto, 2016

Autores

Rafael Augusto da Costa

Parrella et al.

Eng.-Agrôn., DSc., Genética
e Melhoramento de
Plantas, Pesquisador da
Embrapa Milho e Sorgo,
Cx. Postal 151, Sete Lagoas,
MG,
rafael.parrella@embrapa.br

Desenvolvimento de Populações de Sorgo Sacarino de Cruzamento ao Acaso para Seleção Recorrente Intrapopulacional

Introdução

Nos últimos anos, a demanda mundial por combustíveis oriundos de fontes renováveis, principalmente os biocombustíveis, se expandiu. Tal fato está relacionado à preocupação com a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, originados da utilização de combustíveis fósseis. O interesse pelos biocombustíveis deve-se também ao fato destes serem os mais viáveis substitutos do petróleo em escala significativa. Além disso, há as incertezas a respeito da disponibilidade futura de recursos não renováveis e das tensões geopolíticas em regiões produtoras de petróleo (MAY et al., 2012).

Dentre as várias fontes de energia renovável, o etanol é um importante combustível líquido menos volátil que a gasolina e que tem uma reatividade fotoquímica inferior na atmosfera (LI et al., 2013). Verifica-se que a cadeia produtiva do etanol no Brasil tem como principal matéria-prima a cana-de-açúcar. Todavia, deve-se buscar novas fontes, tendo em vista a demanda anteriormente comentada. Neste cenário, uma alternativa promissora para a produção de etanol é o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] (KIM; DAY, 2010).

O sorgo sacarino é uma planta C4, com alta eficiência fotossintética, tornando-se uma das culturas mais promissoras para a produção de etanol (CAO et al., 2012). O teor de açúcares no colmo é similar ao da cana-de-açúcar, mas a sua necessidade de água é menor (ALMODARES; HADI, 2009). Os colmos do sorgo sacarino podem ser processados na mesma instalação destinada à produção de etanol de cana-de-açúcar, oferecendo também uma quantidade de resíduo fibroso (bagaço) para gerar o vapor necessário para a operação industrial (TEIXEIRA et al., 1999). Entretanto, esta cultura se difere de maneira acentuada da cana-de-açúcar por causa do cultivo a partir de sementes e do ciclo vegetativo bem mais curto, de 120 a 130 dias. Portanto, apresenta-se como uma interessante opção complementar à cana-de-açúcar para compor a matriz energética nacional, possibilitando a expansão da área passível de utilização para produção de bioenergia e aumentando a eficiência da produção de etanol (MAY et al., 2012).

A obtenção de cultivares de sorgo sacarino com maiores teores de sólidos solúveis totais (SST), ou teores de açúcares, pode ter sua eficiência incrementada mediante o emprego da seleção recorrente, pois esta é uma característica quantitativa com predominância dos efeitos aditivos (DURÃES, 2014). Com a seleção recorrente tem-se maior chance de acumular e aumentar a frequência de alelos favoráveis para o caráter

de interesse (SST) mediante ciclos sucessivos de melhoramento. As fases constantes em um ciclo de seleção recorrente são a obtenção de progênes, com posterior avaliação, seleção e recombinação das melhores progênes e por fim obtenção da população melhorada. Assim, com sucessivos ciclos de seleção recorrente serão aumentadas as possibilidades de se obter uma maior frequência de progênes que atendam aos padrões desejados, mantendo-se também variabilidade genética na população para ganhos futuros com a seleção. Para isso, é necessário ter uma população com variabilidade genética e uma estratégia de seleção e recombinação que permitam ter ganhos com a seleção, sem exaurir a variabilidade (FEHR, 1987).

Dentre os métodos de seleção recorrente, o intrapopulacional é uma das estratégias mais efetivas na obtenção de genótipos superiores (DOGGET; EBERHART, 1968; GARDNER, 1972). Com a seleção recorrente intrapopulacional pode-se aumentar a média da população *per se*, para o caráter de interesse, possibilitando a extração de linhagens superiores em ciclos futuros com a finalidade de desenvolvimento de híbridos mais produtivos.

Como foi mencionado, uma das etapas da seleção recorrente é a recombinação. Em se tratando de culturas autógamas, ela se torna bastante trabalhosa. Contudo, a existência da macho-esterilidade genética em sorgo representa uma importante ferramenta para a realização da recombinação em esquemas de seleção recorrente, como será comentado a seguir.

Este trabalho tem, portanto, a finalidade de apresentar informações sobre o desenvolvimento de populações de sorgo sacarino de base genética ampla pela Embrapa Milho e Sorgo, visando aumento do teor de açúcar no caldo.

Melhoramento Genético do Sorgo

O trabalho de desenvolvimento de novas variedades e híbridos de sorgo sacarino vem sendo realizado pelo Programa de Melhoramento Genético de Sorgo da Embrapa, em Sete Lagoas-MG. No Brasil, são poucos os programas de melhoramento que trabalham com esta cultura, sendo um dos principais objetivos desenvolver cultivares com alta produção de biomassa fresca e com alto teor de açúcares no caldo, e que contribuam para a produção qualificada de etanol, quando associadas às boas práticas agrícolas e industriais. Como o sorgo é uma espécie autógama, para obtenção de híbridos em escala comercial, é necessária a utilização de linhagens macho-estéreis, sendo que, para esta cultura, dois sistemas de macho-esterilidade apresentam maior destaque. Um é a macho-esterilidade genético-citoplasmática cujo mecanismo é controlado pela interação entre o gene Kafir e o citoplasma Milo (QUINBY, 1974). O citoplasma Milo resulta em fenótipo macho-estéril e o gene Kafir possui dois alelos com interação entre alelos de dominância completa, que impedem que o genótipo com citoplasma Milo seja macho-estéril. Este sistema é utilizado para obtenção de linhagens chamadas A (macho-estéreis) e B (mantenedoras), sendo que os híbridos comerciais (F_1 macho-fértil) são obtidos a partir de cruzamentos entre linhagens A e linhagens restauradoras de fertilidade (R).

A linhagem macho-estéril (A) possui citoplasma estéril e os alelos nucleares restauradores da fertilidade na forma recessiva, portanto é mantida e multiplicada por cruzamento com a linhagem mantenedora (B), que possui a mesma constituição genética nuclear da linhagem A, porém com o citoplasma fértil. A linhagem R deve ser homozigota dominante para o gene nuclear que restaura a fertilidade, pois o híbrido F_1 (híbrido comercial) não pode ser estéril.

O outro sistema é a macho-esterilidade genética controlada pelo gene $ms_3 ms_3$ da variedade Coes (ROONEY, 2000), que é utilizado basicamente para a produção de populações de sorgo de polinização aberta e prática de seleção recorrente, como descrito posteriormente.

De modo geral, os programas de melhoramento de sorgo sacarino visando à obtenção de híbridos envolvem as seguintes etapas: escolha da população-base; desenvolvimento das linhagens com altos teores de açúcares nos colmos, com alta capacidade de combinação para esta e outras características de interesse agrônomo e industrial; avaliação dos híbridos obtidos e seleção de materiais com potencial comercial.

A população-base para a extração de linhagens deve apresentar médias altas para as características de interesse, elevada frequência de alelos favoráveis e alta variabilidade genética (RAMALHO et al., 2012). Diante disto, existem várias opções de populações que podem ser utilizadas, contudo, deve-se escolher aquela que melhor atende aos propósitos do programa de melhoramento. Na maioria dos programas de melhoramento de sorgo sacarino, as linhagens utilizadas para formação de populações-base, visando o desenvolvimento de híbridos, são linhagens-elites, previamente selecionadas.

Desenvolvimento das Populações-Base

A constituição da população-base para o início do programa é que determina o sucesso da seleção ao longo do tempo. Identificar os genótipos superiores que atendam aos interesses do programa de melhoramento em relação a atributos agrônomo e industriais é um ponto de partida para a constituição de populações base de sorgo sacarino.

No caso do programa de melhoramento dessa cultura na Embrapa, as populações foram formadas levando em consideração a presença de caldo nos colmos e o teor de sólidos solúveis totais (SST) no caldo. Conforme a literatura (REDDY et al., 2005; MURRAY et al., 2008; LOMBARDI et al., 2015), a característica SST é altamente correlacionada com o teor de açúcares no caldo, ou seja, quanto maior o SST, maior será o teor de açúcar e, conseqüentemente, maior será a produção de etanol.

No programa da Embrapa, foram desenvolvidas duas populações de sorgo sacarino separadamente, uma constituída por linhagens mantenedoras de fertilidade (B) e outra constituída por linhagens restauradoras de fertilidade (R) (Tabela 1). Para síntese das populações, plantas macho-estéreis da população BRP13R foram utilizadas como parental feminino. Após o terceiro ciclo de recombinação, originaram-se as populações BRP15B e BRP16R.

As populações foram desenvolvidas entre julho de 2013 e julho de 2015 e, posteriormente, para as duas populações será utilizada pressão de seleção para aumento do teor de sólidos solúveis.

Métodos de Obtenção da População-Base

Depois de escolhidas as linhagens parentais, estas foram semeadas em casa de vegetação para serem realizados os cruzamentos manuais de cada uma das linhagens B ou R, dependendo da população, com a fonte de macho-esterilidade genética do programa da Embrapa, obtendo-se as sementes das gerações F_1 de cada uma das duas populações (100% férteis). Em seguida, obtiveram-se as gerações F_2 de cada população, que foram semeadas para a identificação de plantas macho-estéreis, que, então, foram cruzadas, de forma controlada

para cada população, com as linhagem B ou R (Tabela 1) aleatoriamente, para obtenção das gerações de retrocruzamento 1 (F_1RC_1), visando aumentar a frequência de alelos relacionados à produção de açúcar. Daí em diante, cada população B e R foi desenvolvida separadamente em casas de vegetação distintas (isoladamente) para não haver contaminação com alelos de restauração de fertilidade na população B.

Tabela 1. Linhagens utilizadas na obtenção das populações.

LINHAGENS B	LINHAGENS R
CMSXS5506B	Cowley
CMSXS5509B	Topper
CMSXS5510B	M81E
CMSXS5511B	Rex
CMSXS5512B	Brawley
CMSXS5513B	Keller
CMSXS5514B	Coller
CMSXS5515B	Rio
CMSXS5516B	Theis
CMSXS5517B	Sugar Drip
CMSXS5518B	Wray
CMSXS5519B	Brandes
-	Dale
-	Roma
-	Ramada

Plantas de cada cruzamento F_1RC_1 foram autofecundadas em casa de vegetação, obtendo-se as sementes da geração F_2RC_1 . Em seguida, com sementes de cada planta da população F_2RC_1 foram misturadas para formar um bulk e, posteriormente, semeadas em casa de vegetação para recombinação. As sementes desta geração correspondem à primeira etapa de recombinação, sendo colhidas apenas das plantas macho-estéreis, que foram identificadas durante o florescimento, cuja proporção obtida nesta geração foi de $\frac{1}{4}$ (25%). Destas plantas macho-estéreis, foram colhidas em torno de 300 panículas e separadas 100 sementes de cada para formar um novo bulk. Estas sementes foram semeadas novamente em casa de vegetação (isoladamente para cada população B ou R), constituindo-se a segunda etapa de

recombinação. Durante o florescimento, foram identificadas as plantas macho-estéreis, que corresponderam agora a $\frac{1}{3}$ (33%) das plantas nesta geração. Destas plantas macho-estéreis, foram colhidas 300 panículas e separadas 100 sementes de cada para formar novo bulk. Estas sementes foram semeadas novamente em casa de vegetação, constituindo-se a terceira etapa de recombinação. Durante o florescimento, foram identificadas as plantas macho-estéreis, que correspondem a $\frac{1}{2}$ (50%) das plantas nesta geração. Esta se constitui a terceira e última etapa de recombinação e a proporção fenotípica de 1 planta fértil:1 planta estéril se mantém para as próximas gerações. A Figura 1 ilustra o desenvolvimento da população. Esta população é, portanto, considerada a população do ciclo zero.

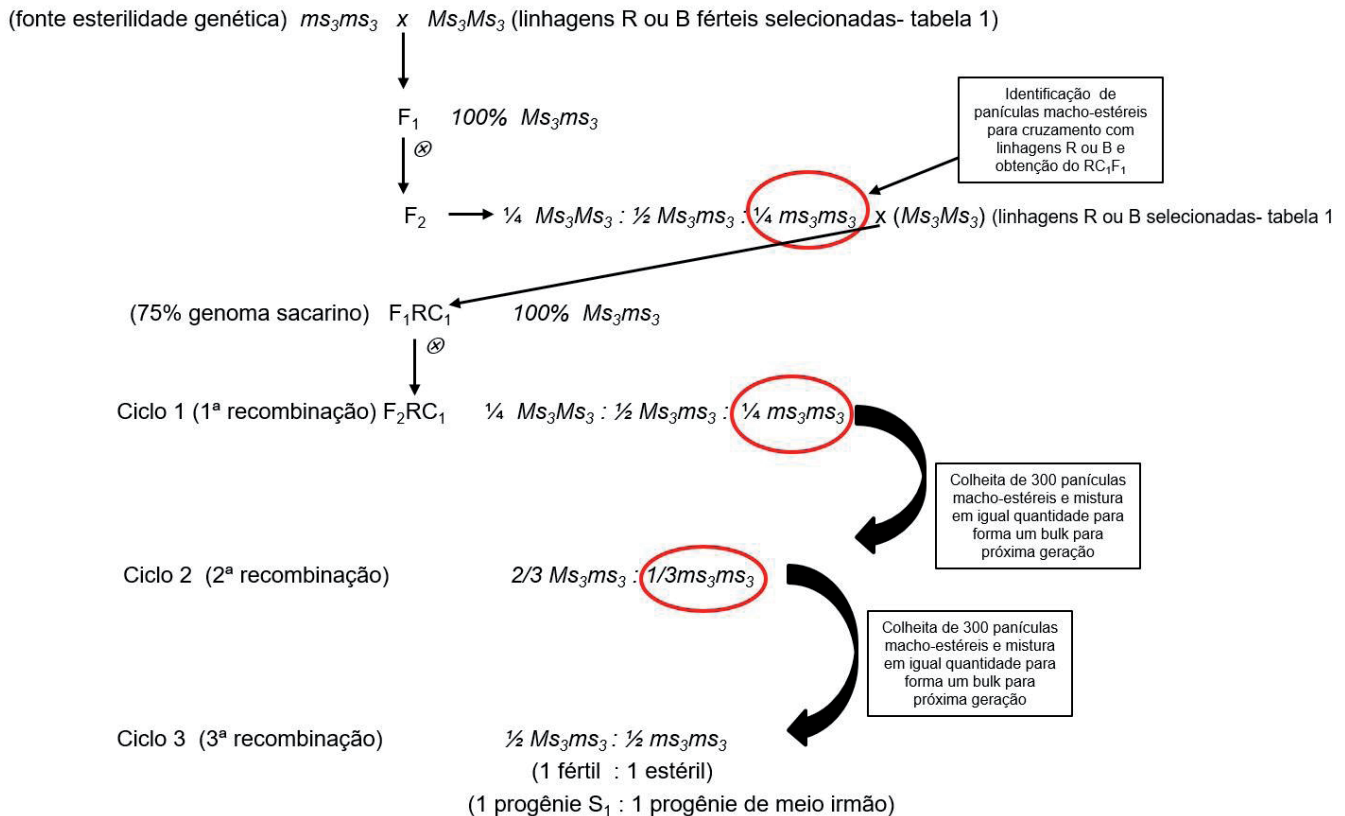


Figura 1. Esquema de desenvolvimento da população-base de sorgo sacarino com o gene de esterilidade genética ms_3ms_3 .

Considerações Finais

Os métodos de melhoramento utilizados em sorgo têm sido adaptados daqueles empregados com muito sucesso no melhoramento do milho (DOGGET; EBERHART, 1968; GARDNER, 1972). No entanto, pelo fato de empregar a macho-esterilidade, a obtenção de progênies S_1 em sorgo é tão fácil quanto a obtenção de progênies de meios-irmãos, pois a proporção de plantas férteis é de 50% na população. Isto não acontece em milho, que necessita autofecundações controladas para a obtenção de S_1 .

Dentre os métodos de melhoramento de populações de sorgo apresentados, destacam-se, pela facilidade de execução, a seleção entre progênies de meios-irmãos e a seleção entre progênies S_1 (SCHAFFERT; TREVISAN, 1974). Estes autores observaram ainda que o

ganho de seleção para S_1 foi maior, em relação a famílias de meios-irmãos, nas populações BRP4B e BRP3R. Para o desenvolvimento de linhagens durante o programa de melhoramento de populações, o método utilizando progênies S_1 apresentou indicações de ser o mais adequado, pois encontra maior número de progênies superiores, derivadas de progênies S_1 , em relação a progênies de meios-irmãos.

Para cada uma das populações BRP15B ou BRP16R de sorgo sacarino, no terceiro e último ciclo de recombinação, foram marcadas as plantas férteis e macho-estéreis e suas sementes foram colhidas individualmente para obtenção das progênies S_1 e de meios-irmãos, respectivamente. Contudo, pela facilidade de obtenção e maior ganho genético, sugere-se utilizar as progênies S_1 . Parte das sementes das

progênes S₁ foi armazenada e a outra parte será utilizada para avaliação no campo de progênes (escolhidas aleatoriamente) em dois locais com experimentos utilizando delineamento apropriado para avaliação de caracteres agroindustriais.

Diante do exposto, o desenvolvimento das populações melhoradas irá possibilitar a extração de linhagens mantenedoras (B) e restauradoras (R) com maior produção de açúcar por hectare e, conseqüentemente, maior produção de etanol, após a realização de ciclos sucessivos, avaliação, seleção e recombinação nas populações-base.

Referências

- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772-780, set. 2009.
- CAO, W.; SUN, C.; LIU, R.; YIN, R.; WU, X. Comparison of the effects of five pretreatment methods on enhancing the enzymatic digestibility and ethanol production from sweet sorghum bagasse. **Bioresource Technology**, v. 111, p. 215-221, 2012.
- DOGGETT, H.; EBERHART, S. A. Recurrent selection in sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 8, n. 1, p. 119-121, 1968.
- DURÃES, N. N. L. **Heterose em sorgo sacarino**. 2014. 79 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: Macmillan, 1987. 525 p.
- GARDNER, C. O. Development of superior populations of sorghum and their role in breeding programs. In: RAO, N. G. P.; HOUSE, L. R. (Ed.). **Sorghum in seventies**. New Delhi: Oxford & IBH Publishing, 1972. cap. 13, p. 180-195.
- KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar Mills. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, Hampshire, v. 38, p. 803-807, 2010.
- LI, J.; LI, S.; HAN, B.; YU, M.; LI, G.; JIANG, Y. A novel cost-effective technology to convert sucrose and homocelluloses in sweet sorghum stalks into ethanol. **Biotechnology for Biofuels**, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2013.
- LOMBARDI, G. M. R.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. C.; TEIXEIRA, D. H. L.; BRUZI, A. T.; DURÃES, N. N. L.; FAGUNDES, T. G. Path analysis of agro-industrial traits in sweet sorghum. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 4, p. 16392-16402, 2015.
- MAY, A.; CAMPANHA, M. M.; SILVA, A. F.; COELHO, M. A. O.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; PEREIRA FILHO, I. A. Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n.3, p. 278-290, maio 2012.
- MURRAY, S. C.; SHARM, A.; ROONEY, W. L.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E.; MITCHELL, S. E.; KRESOVICH, S. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: I. QTL for stem sugar and grain nonstructural carbohydrates. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 2165-2179, 2008.
- QUINBY, J. R. **Sorghum improvement and the genetics of growth**. College Station: Texas A&M University Press, 1974. 108 p.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética**

quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

REDDY, B. V. S.; RAMESH, S.; ORTIZ, R. Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in sorghum. **Plant Breeding Reviews**, Westport, v. 25, p. 139-172, 2005.

ROONEY, W. L. Genetics and cytogenetics. In: SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. **Sorghum: origin, history, technology, and production.** College Station: Texas A&M University Press, 2000. p. 261-308.

SCHAFFERT, R. E.; TREVISAN, W. L. Síntese e melhoramento de populações de intercruzamento em sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 10., 1974, Sete Lagoas. **Anais.** Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1974. p. 272-280.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; NICOLELLA, G.; ZARONI, M. H. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 9, p. 1601-1606, set. 1999.

Co-autores

* Robert Eugene Schaffert

Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas, Geneticista, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, robert.schaffert@embrapa.br

* Pakizza Sherma da Silva Leite

Licenciatura em Ciências Biológicas, Doutoranda em Genética de melhoramento de plantas, Universidade Federal de Lavras, pakizza@hotmail.com

* José Ailton Rodrigues Nunes

Eng.-Agrôn., Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas, Professor Universidade Federal de Lavras, jarnunes@dbi.ufla.br.

* Cícero Beserra de Menezes

Eng. -Agrôn., D.Sc. Genético e Melhoramento de Plantas, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, cicero.menezes@embrapa.br

* José Avelino Santos Rodrigues

Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, avelino.rodrigues@embrapa.br

* Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella

Eng.-Agrôn., Doutorado em Fitotecnia, Professora Universidade Federal de São João del Rei, nadia@ufsj.edu.br

**Circular
Técnica, 217**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027 1100

Fax: (31) 3027 1188

www.embrapa.br/fale-conosco

1ª edição

Versão Eletrônica (2016)

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

**Comitê de
publicações**

Presidente: Presidente: Sidney Netto Parentoni.

Secretário-Executivo: *Elena Charlotte Landau.*

Membros: *Antonio Claudio da Silva Barros,
Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia
Ferreira Simeone, Monica Matoso Campanha,
Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda
de Castro.*

Expediente

Revisão de texto: *Antonio Claudio da Silva Barros.*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de
Castro.*

Tratamento das ilustrações: *Tânia Mara A. Barbosa.*

Editoração eletrônica: *Tânia Mara A. Barbosa.*